

(19) Federal Republic of Germany	(12) Patent Document (11) DE 195 14 342 C1	(51) Int. Cl. <sup>6</sup> : G 01 R 15/20 H 03 H 9/145 H 01 F 36/20
-------------------------------------	---	--

German	(21) File No.:	195 14 342.8-35
Patent	(22) Application Date:	18.4.95
Office	(43) Date of Opening for Inspection:	
	(45) Date of Publication of Award:	22.2. 95

Objections may be raised within three months of publication of the award.

(71) Patent holder:	US	47 25 841
Siemens AG	US	46 20 191
80333 München, DE	US	44 20 752
	US	32 73 146

(72) Inventor:	EP	04 65 029
Meier, Reinhard, Dr.-Ing., 90174	WO	93 13 495

Hezogenaaurach, DE; Bulst, Wolf-Eckhart,  
Dipl.-Phys., 81739 München, DE;  
Sczesny, Oliver, Dipl.-Ing., 85809  
Aschheim, DE; Schelter, Wolfgang, Dr.,  
91080 Uttenreuth, DE; Reindl, Leonhard,  
Dipl.-Phys., 83071 Stephanskirchen, DE;  
Rulle, Werner, Dr.-Ing., 80636 München,  
DE; Scholl, Gerd, Dr.-Ing., 80636  
München, DE; Ostertag, Thomas, Dipl.-  
Ing., 89075 Ulm, DE; Michael, Jürgen,  
Dipl.-Ing., 81827 München, DE

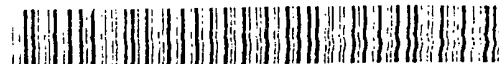
HOLCROFT, S., ROBERTS, G.G.:  
Surface acoustic wave device  
incorporating conducting Langmuir-  
Blodgett films. In Electronic Letters,  
April 1987, Vol. 23, No. 9, p. 446, 447.  
REEDER T.M., CULLEN D.E.:  
Surface acoustic wave procedure and  
temperature sensors. In: Proceed[ings] of  
the IEEE, Vol. 64, No. 5, May 1976, pp.  
754-756.  
Magneto-resistive sensors, principles...  
Papers presented to the Symposium of  
25.6.92, Dortmund, MIOK Center, Inst.  
for Applied Physics, University of Jena,  
pp. 29-51.

(56) Published patents to be considered  
in evaluating patentability:  
DE 38 28 005 A1  
DE-GM 72 22 482  
CH 5 18 723

(54) Current converter, suitable for measurement of current strength on/in electrical devices  
lying on high-voltage lines

(57) The current converter according to the invention for high/medium-voltage applications  
is equipped with a magneto-sensitive element which, as the terminal of a surface wave  
structure, is connected to a surface wave device with this surface wave structure. The  
answering signal of the surface wave device is the information with regard to the current  
strength / direction and phase of the current flowing through the device in that moment,  
which is evaluated by the ground station. Thanks to radio transmission, there is no  
problem of electrical insulation and the use of the surface wave device which may be  
queried by radio makes that part of the current converter which lies on a high potential  
into a passive element thereof.





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 195 14 342 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 R 15/20  
H 03 H 9/145  
H 01 F 38/20

21 Aktenzeichen: 195 14 342.6-35  
22 Anmeldetag: 18. 4. 95  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 22. 2. 96

DE 195 14 342 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Maier, Reinhard, Dr.-Ing., 91074 Herzogenaurach, DE; Bulst, Wolf-Eckhart, Dipl.-Phys., 81739 München, DE; Sczesny, Oliver, Dipl.-Ing., 85609 Aschheim, DE; Schelter, Wolfgang, Dr., 91080 Uttenreuth, DE; Reindl, Leonhard, Dipl.-Phys., 83071 Stephanskirchen, DE; Ruile, Werner, Dr.-Ing., 80636 München, DE; Scholl, Gerd, Dr.-Ing., 80636 München, DE; Ostertag, Thomas, Dipl.-Ing., 89075 Ulm, DE; Michel, Jürgen, Dipl.-Ing., 81827 München, DE

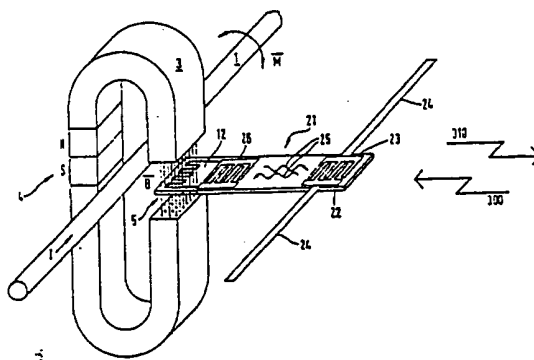
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 38 28 005 A1  
DE-GM 72 22 482  
CH 5 19 723

US 47 25 841  
US 46 20 191  
US 44 20 752  
US 32 73 146  
EP 04 65 029  
WO 93 13 495

HOLCROFT, B., ROBERTS, G.G.: Surface-acoustic-wave device incorporating conducting Langmuir-Blodgett films. In: Electronic Letters, April 1987, Vol.23, No.9, S.446,447;  
REEDER, T. M., CULLEN, D.E.: Surface-Acoustic-Wave Pressure and Temperature Sensors. In: Proceed of the IEEE, Vol.64, No.5, May 1976, S.754-756;  
Magneto-resistive Sensoren, Grundlagen...., Vorträge zum Symposium v. 25.6.92, Dortmund, Dienstleistungszentr. MIOK, Inst. f. angew. Physik Univers. Jena, S.29-51;

54 Stromwandler, geeignet zur Stromstärkemessung an/in auf Hochspannung liegenden elektrischen Einrichtungen

57 Der erfindungsgemäße Stromwandler für Hoch-/Mittelspannungsanlagen ist mit einem magneto-sensitiven Element ausgerüstet, das als Abschluß einer Oberflächenwellenstruktur einer Oberflächenwellenanordnung mit dieser Oberflächenwellenstruktur verbunden ist. Das Antwortsignal der Oberflächenwellenanordnung ist die Information über Stromstärke/-richtung und Phase des momentan in der Anlage fließenden Stromes, die von der Bodenstation ausgewertet wird. Durch die Funkübertragung gibt es kein elektrisches Isolationsproblem und die Verwendung einer funkabfragbaren Oberflächenwellenanordnung macht den auf hohem Potential liegenden Teil des gesamten Stromwandlers zu einem passiven Element desselben.



DE 195 14 342 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stromwandler nach dem Oberbegriff des Anspruches 1. Dieser wird zur Stromstärkemessung an/in auf Hoch-/Mittelspannung liegenden elektrischen Einrichtungen, wie z. B. Freileitungen, Kabel, Umspanneinrichtungen, Wandler und dergleichen verwendet.

Ein derartiger Stromwandler ist aus dem DE-GM 72 22 482 bekannt.

Ein die Erfindung betreffender Stromwandler ist in Oberflächenwellentechnik ausgeführt, nämlich weist als wesentliches Bauelement eine elektroakustische Oberflächenwellenanordnung mit Oberflächenwellenstrukturen auf.

Für die Erfindung einschlägige Oberflächenwellenanordnungen sind bekannt aus WO 93/13495, WO/CH 93/00252, US-A-3,273,146, US-A-4,725,841, US-A-4,620,191.

In den genannten Druckschriften sind Aufbau- und Betriebsweisen verschiedenartiger Oberflächenwellenanordnungen beschrieben, die alle gemeinsam haben, daß mittels eines Interdigitalwandlers aus einem elektrischen Signal in einem piezoelektrischen Substratkörper Oberflächenwellen erzeugt werden, die sich im Regelfall im wesentlichen senkrecht zur interdigitalen Ausrichtung der Wandler Elektroden in der Oberfläche des Substratkörpers ausbreiten. Mit einem zweiten Interdigitalwandler, der auch der bereits voranstehend beschriebene Wandler in Doppelfunktion sein kann, ist es möglich, aus der Oberflächenwelle ein charakteristisch verändertes Hochfrequenzsignal zurückzugewinnen. Wie im Stand der Technik beschrieben, kann eine solche Oberflächenwellenanordnung noch weitere Strukturen wie Reflektorstrukturen, weitere Wandlerstrukturen usw. umfassen, die z. B. auch disperse Anordnung der Reflektor-/Wandlerfinger, codierte Anordnung der Finger und dgl. aufweisen können.

Wesentlicher Gesichtspunkt und Inhalt der vorliegenden Erfindung ist, daß der Stromwandler ein funkabfragbares, passives, d. h. keine (galvanische) Stromzuführung erforderndes Sensorteil in Oberflächenwellentechnik hat, dem von einem ortsentfernten Hochfrequenzsender ein Hochfrequenzsignal, z. B. ein Burst-Impuls, ein FM-CW-Signal, ein gechirpter Impuls und dgl. zugesandt wird. Die Oberflächenwellenanordnung des Sensorteils, d. h. deren Eingangswandlerstruktur ist dazu mit einer Antenne zum Funk-Empfang dieses zugesandten Impulses ausgerüstet. Eine entsprechende Antenne, die mit einer zweiten Wandlerstruktur der Oberflächenwellenanordnung verbunden ist oder im bereits erwähnten Falle einer Wandlerstruktur mit Doppelfunktion dieselbe Antenne ist, wird dazu verwendet, das Impulsantwortsignal der Oberflächenwellenanordnung zurückzusenden, das in einem ortsentfernten Empfänger zu empfangen ist. Das zurückgesandte Impulsantwortsignal ist im Regelfall gegenüber dem von der Oberflächenwellenanordnung empfangenen Signal verschieden, nämlich entsprechend dem zu ermittelnden Stromstärke-Meßwert, und zwar dies durch entsprechende physikalische Einwirkung auf die Oberflächenwellenanordnung.

Funkabfragbare Oberflächenwellenanordnungen werden bereits z. B. in Gebührensystemen an Autostraßen, -tunnels und dgl. benutzt, wo es jedoch auf die Detektierung vorprogrammierter individueller Kodierung des Impulsantwortsignals zur Objekt-Identifizierung ankommt. Auch in der Meßtechnik sind funkab-

fragbare Oberflächenwellenanordnungen verwendet worden, wobei diese im Regelfall als Verzögerungsleitungen aufgebaut sind und für den Meßzweck Maßnahmen ergriffen sind, daß die zu ermittelnde Meßgröße in der Oberflächenwellenanordnung eine Laufzeitveränderung der akustischen Welle bewirkt. Diese Laufzeitveränderung kann auf einem von einer (quer zur Ausrichtung der Oberflächenwelle gerichteten) elektrischen Feld im Substratkörper beruhen, das z. B. durch piezoelektrischen Effekt im entsprechenden Teilbereich des Substratkörpers Laufzeitveränderung herbeiführt (EP 0166065). Es ist z. B. ein Temperatursensor mit Änderung der Laufzeit der Welle bekannt (EP 0465029). Eine Anordnung, die eine Widerstandsveränderung einer auf der Oberfläche des Substratkörpers der Oberflächenwellenanordnung angebrachten organischen Schicht ausnutzt, eignet sich zur Messung einer Oberflächenbeladung dieser Schicht, z. B. mit einer zu identifizierenden/quantitativ zu messenden chemischen Substanz (Electronics Letters, Band 23 (1987), Nr. 9, S. 446/447). Auch ist ein einschlägiger Druckmesser bekannt, bei dem die im Material des Substratkörpers der Oberflächenwellenanordnung druckabhängig veränderte mechanische Eigenschaft des Körpers, z. B. Biegung, eine Laufzeitveränderung der akustischen Welle bewirkt und zur Meßwertermittlung nutzbar macht (Proceedings IEEE, Band 64 (1976), S. 754—6). Bei den hier letztgenannten Anordnungen ist jedoch ein Fernabfragen per Funk nicht vorgesehen. Ebenfalls für sich genommen sind in anderem Zusammenhang magneto-sensitive Sensoren z. B. aus DE-A-38 28 005 und aus "Magneto-resistive Sensoren, Grundlagen ...", Vorträge zum Symposium 25. Juni 1992, Dortmund, Dienstleistungszentrum MIOK, Institut für angewandte Physik Universität Jena, bekannt.

Es liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen vorteilhaften Stromwandler der eingangs genannten Art zur Messung von (Stärke und Phase von) Strömen in auf hoher Spannung liegenden Einrichtungen anzugeben, der keine besondere Justierung erfordert.

Eine solche Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den im Patentanspruch 1 dazu angegebenen Merkmalen gelöst.

Mit der Erfindung ist in einfacher Weise eine potentiell freie Messung mit auf Erdpotential befindlicher Auswerteeinheit in Hochspannungs-/Mittelspannungs-Anlagen möglich. Insbesondere ist die erfindungsgemäße Einrichtung sehr störunempfindlich, wartungsfrei und hat eine lange Lebensdauer. Der auf Hochspannungspotential liegende Sensoranteil der Einrichtung hat nur geringe Baugröße und geringes Gewicht. Eine erfindungsgemäße Einrichtung bedarf auch keiner besonderen Justierung oder sonstiger Ausrichtung der einerseits auf Hochspannungspotential liegenden und andererseits der auf Erdpotential liegenden Anteile der Einrichtung.

Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Das magneto-sensitive Element ist vorzugsweise ein magnetoresistives elektrisches Element (magnetfeldabhängige Impedanz), das mit wenigstens einer der Oberflächenwellenstrukturen der Oberflächenwellenanordnung elektrisch verbunden ist. Es kann auch eine Schicht oder ein Träger aus magneto-strikтивem Material vorgesehen sein, die/der durch Aufbringen auf der Oberseite oder Unterseite des Substratkörpers mit der Oberflächenwelle der Oberflächenwellenstruktur mechanisch gekoppelt ist.

Weitere Erläuterungen der Erfindung werden anhand der beigefügten Figuren gegeben.

Fig. 1 zeigt eine prinzipielle Darstellung eines einfachen Beispiels eines erfindungsgemäßen Stromwandlers in einer beispielsweise Betriebsanordnung,

Fig. 2 zeigt eine vorteilhafte Ausgestaltung eines Ausführungsbeispiels auf der Basis des Beispiels der Fig. 1,

Fig. 3 und 3a zeigen weitere Beispiele eines erfindungsgemäßen Stromwandlers,

Fig. 4 zeigt eine besondere Ausgestaltung eines Stromwandlers des Beispiels der Fig. 3,

Fig. 5 zeigt ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Stromwandlers in einem Stromkabel,

Fig. 6, 7 und 8 zeigen spezielle Ausführungsformen der Oberflächen-Wellenanordnung für einen erfindungsgemäßen Stromwandler,

Fig. 9 und 10 zeigen Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Stromwandlers, der eine magneto-striktive Schicht/Trägerplatte als magneto-sensitives Element hat.

In Fig. 1 ist mit 1 eine Hochspannungsleitung bezeichnet, wie sie z. B. als Leiterseil an Hochspannungsmasten verwendet wird. Im stromdurchflossenen Zustand der Leitung 1 ist um diese ein ringförmiges Magnetfeld M erzeugt, das bei einem Wechselstrom periodisch seine Umlaufrichtung ändert. Um im Bereich des erfindungsgemäßen Sensors eine definierte Führung dieses Magnetfeldes M zu haben, ist ein Weicheisenring 3 mit Magnetspalt vorgesehen. In dessen Wirkungs-  
bereich ist beim Beispiel der Fig. 1 als magneto-resistives Element ein Magnetwiderstand 12 angeordnet. Dieser Magnetwiderstand kann z. B. eine bekannte Feldplatte sein, die magneto-resistive Eigenschaft hat.

Die Oberflächenwellenanordnung 21 hat beim Beispiel der Fig. 1 eine sehr einfache Ausgestaltung, an der jedoch das Wesentliche der Wirkungsweise einer bei der Erfindung verwendeten Oberflächenwellenanordnung erläutert werden kann. Mit 22 ist der bekanntermaßen piezoelektrische Körper oder das Substrat der Oberflächenwellenanordnung 21 bezeichnet. Auf der einen Oberfläche dieses Körpers 22 ist eine interdigitale Wandlerstruktur 23 in bekannter Weise angeordnet. Mit 24 ist die aus zwei Dipolhälften bestehende Antenne bezeichnet. Es können aber auch andere einschlägige Antennenstrukturen, wie z. B. eine Patch-Antenne, Schleifenantenne oder dergleichen, vorgesehen sein. Ein hochfrequentes Abfragesignal 300 wird von dieser Antenne 24 aufgenommen und die zwischen den beiden Dipolen auftretende elektrische Hochfrequenzspannung speist die beiden interdigitalen Fingerstrukturen des Wandlers 23. Die mit dem Wandler 23 als Eingangswandler erzeugte Oberflächenwelle 25 läuft auf/in der Oberfläche des Substratkörpers 22. Eine solche Welle ist mit 25 schematisch angedeutet. Sie gelangt auf ihrem Weg auch in den Wirkungsbereich der Struktur 26, die aufgrund ihrer Finger als Reflektor für die Welle 25 wirksam ist. Da die Struktur 26 jedoch (ebenfalls) als interdigitale Fingerstruktur ausgeführt ist und an deren beide Interdigitalstrukturen das magneto-resistive Element 12, wie aus der Fig. 1 ersichtlich, elektrisch angeschlossen ist, wird in der Struktur 26 vermöge der akustischen Oberflächenwelle zusätzlich auch eine elektrische Hochfrequenzspannung erzeugt, zu der das magneto-resistive Element 12 als elektrischer Abschlußwiderstand wirksam ist. Da von der Amplitude des Magnetfeldes B abhängig der elektrische Widerstand des Elementes 12 sich ändert, wirkt sich eine Amplitudenän-

derung des Magnetfeldes B als Änderung des elektrischen Abschlußwiderstandes der Struktur 26 aus. Es bildet sich eine Beeinflussung aus, die allerdings nur im Extremfall zwischen sehr hochohmigem Abschlußwiderstand und nahezu Kurzschluß-Abschlußwiderstand liegt, und zwar abhängig von der Amplitude des Magnetfeldes B, d. h. abhängig von der Stärke des dieses Magnetfeld erzeugenden, in der Leitung 1 fließenden Stromes. Durch passend gewählte Dimensionierung der elektrischen Werte des Elementes 12 kann ein jeweils günstiger Meßgröße-Bereich des magnetfeldgesteuerten Abschlußwiderstandes, eingestellt werden. Das Impulsantwortsignal ist mit 310 bezeichnet.

Mit anderen Worten, wirkt das Element 12 also als Abschlußimpedanz, worin ein neues Merkmal der Erfindung liegt.

In der bekannten P-Matrix-Darstellung eines Wandlers läßt sich die Reflexion dieses Wandlers als Funktion seines elektrischen Abschlusses folgendermaßen darstellen:

$$P_{11}(Y_{\text{Last}}) = P_{11}(\text{SC}) + 2 \cdot \frac{P_{13}^2}{(P_{33} + Y_{\text{Last}})}$$

worin  $P_{11}(\text{SC})$  der Kurzschluß-Reflexionsfaktor,  $P_{13}$  die elektroakustische Konversion,  $P_{33}$  die Wandleradmittanz und  $Y_{\text{Last}}$  die Abschlußadmittanz sind.

Es ist zweckmäßig, (jeweils) eine schmalbandige Antenne vorzusehen, um die Einrichtung gegen sonstige elektromagnetische Störungen zu schützen.

In Fig. 1 ist im Flußkreis des Eisenkernes 3 noch ein Permanentmagnet 4 mit den Polen N und S eingefügt. Dieses Permanentmagnetfeld ist im Spalt 5 einem periodischen Magnetfeld überlagert, das dem Wechselstrom entspricht, der in der Leitung 1 fließt. Mit dem Permanentmagnetfeld kann der Arbeitspunkt der Anordnung so geändert werden, daß der magnetische Fluß im Spalt 5 selbst bei größter Stromstärke in der Leitung 1 keinen Null-Durchgang erfährt, d. h. eine Arbeitspunktverschiebung erzielt ist. Damit läßt sich also gleichbleibend gerichtet (jedoch amplitudenmäßig von der Stromstärke abhängiger) Magnetfluß B im Spalt 5 erzielen, was ermöglicht, auch die Flußrichtung des zu messenden Stromes mitzubestimmen.

Eine für die Praxis vorteilhafte Verbesserung zeigt die Fig. 2 in wiederum schematischer Weise. In Fig. 2 sind zwei wie in Fig. 1 dargestellte Anordnungen an ein und derselben Stromleitung 1 vorgesehen. Diese beiden Anordnungen unterscheiden sich voneinander darin, daß der Permanentmagnet 14 der zweiten Anordnung gegenüber dem Permanentmagneten 4 entgegengesetzt gepolt ist. Es ist also in beiden Anordnungen eine Arbeitspunktverschiebung bewirkt, und zwar in der zweiten Anordnung hinsichtlich der Flußrichtung B im Spalt 15 entgegengesetzt der Flußrichtung im Spalt 5. Die gemeinsame Auswertung dieser beiden, entgegengesetzten Arbeitspunkt-verschobenen Änderungen im Bereich der beiden magneto-resistiven Elemente als Abschlußwiderstände in den beiden Anordnungen 21 und 21', d. h. das Auftreten gegenphasiger Meßsignale an den Dipolen der Antennen 24 und 124 führt zu noch besserem Ergebnis. Im Auswertegerät wird die Differenz der beiden Impulsantworten der beiden Oberflächenwellen-Anordnungen 21 und 21' ausgewertet. Dies bewirkt, daß sonstige störende Einflüsse minimiert sind.

Auf der Basis der Erfindung läßt sich eine weitere

Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Stromwandlers angeben, der wiederum zugleich Stromstärke und Stromrichtung zu ermitteln gestattet. Die Fig. 3 zeigt eine solche Ausführung mit einem von transformatorischen Umwandlern her bekannten Ringkern 103 aus ferromagnetischem Material mit darauf befindlicher Ringkernwicklung 104. Die beiden Anschlüsse a und b dieser Wicklung 104 sind mit einer zu diesen Anschlüssen parallel liegenden spannungsabhängigen Impedanz VDX verbunden. Diese spannungsabhängige Impedanz bildet zusammen mit der Wicklung 104 im Sinne der Erfindung ein magneto-sensitives Element, das die dem betreffenden Oberflächenwellenwandler hinzugeschaltete Abschlußimpedanz ist (wie sie bei den Ausführungsformen der Fig. 1 und 2 vorgesehen ist). Die Oberflächenwellenanordnung 121 des Ausführungsbeispiels der Fig. 3 hat wiederum den Eingangs-/Ausgangswandler 23 mit der damit verbundenen Antenne 24. Zur Detektion der Stromrichtung des zu messenden, in der Hochspannungsleitung 1 fließenden Stromes, ist der weitere Wandler 126 der Oberflächenwellenanordnung 121 vorgesehen, der mit einem Schalter 1126 verbunden ist. Je nach Vorzeichen/Richtung der an der Impedanz VDX anliegenden elektrischen Spannung, ist dieser Schalter 1126 geschlossen oder geöffnet, d. h. der Wandler oder die zweite Oberflächenwellenstruktur 126 offen oder kurzgeschlossen. Die Oberflächenwellenanordnung 121 ermöglicht somit, aus der vom Wandler 23 ausgesandten und von diesem wieder empfangenen akustischen Welle aus dem von der augenblicklichen Größe der Impedanz VDX abhängigen Reflexionsvermögen des Wandlers 26 den Betrag und aus der Laufzeitbeeinflussung im offenen oder kurzgeschlossenen Wandler 126 Betrag und Richtung des im Leiter 1 momentan fließenden elektrischen Stromes zu ermitteln.

Die Fig. 3a zeigt eine zur Fig. 3 zusätzliche Ausgestaltung zur Ermittlung von Betrag und Richtung des Stromes. Mit 105 ist eine Gleichrichter-Brückenschaltung und mit 106 ein Transistor bezeichnet. Wie aus der Fig. 4 ersichtlich, sind der eine Wandler 26 und der zusätzliche Wandler 126 mit der Schaltung 105/106 verbunden. Die Schaltung 105 liefert den momentanen Betrag und der als Schalter wirksame Transistor 106 das Vorzeichen des augenblicklich gemessenen Stromes.

Die Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform bei der gegenüber der Fig. 3 die Impedanz VDX (und der Schaltkreis) entfällt und die magnetfeldabhängige Spannung der Spule 104 direkt an ein Elektrodenpaar 526 angelegt ist, mit dem im Substrat 22 der Oberflächenwellenanordnung im Bereich der Ausbreitungsstrecke 25 der akustischen Welle eine Elektrostriktion im piezoelektrischen Material erzeugt wird. Diese von der jeweiligen Höhe der anliegenden Spannung abhängige Striktion bewirkt als Sensoreffekt eine davon abhängige Laufzeitbeeinflussung der Oberflächenwellenanordnung.

Die Fig. 5 zeigt eine der Erfindung gemäße Ausführungsform für die Anwendung bei einem Hochspannungskabel. Mit 31 ist der Außenleiter und mit 32 der koaxial angeordnete Innenleiter des Kabels 30 bezeichnet. Im Raum zwischen Innenleiter und Außenleiter befindet sich ein Isolationsmittel, z. B.  $\text{SF}_6$ . Ein erfindungsgemäßer Stromwandler mit seinem magneto-sensitiven Element und seiner Oberflächenwellenanordnung ist als Wandler 33 auf der Oberfläche des Innenleiters als Wandler 33 oder alternativ (um mögliche Überschlüsse zu vermeiden) als Wandler 33' innen an der Wand des Innenleiters angebracht. Die Fig. 5 zeigt lediglich ein Prinzipbild der Oberflächenwellenanordnung 33 mit

den Dipolhälften der Antenne 34. Um Funk-Abfragung durchführen zu können, ist im Außenleiter und gegebenenfalls auch im Innenleiter des Kabels (je ein Schlitz 35, 35') für das Hindurchtreten des Funkfeldes ins Kabelinnere vorgesehen. Mit Rücksicht auf die Gasfüllung ist ein solcher Schlitz entsprechend gasdicht mit dielektrischem Material zu verschließen. Alternativ kann das Abfragesignal auch in Form einer im Rohrleiter-Zwischenraum zwischen Innenleiter und Außenleiter ausbreitungsfähigen Hohlleiterwelle zugeführt werden. Die Anregung dieser Hohlleiterwelle kann dabei auch an einem entfernteren Ort im Rohrleiter erfolgen. Die Fig. 5a zeigt eine Aufsicht mit aufgeschnittenem Außenleiter 31 auf die Oberfläche des Innenleiters 32 mit dem auf dieser angebrachten Stromwandler 33.

Wie schon in Fig. 1 gezeigt, kann das magneto-sensitive Element, in Fig. 1 als mäanderförmiger magnetfeldempfindlicher Widerstand dargestellt, integral mit auf dem Substratplättchen 22 der jeweiligen verwendeten Oberflächenwellenanordnung angeordnet sein. Anstatt eines solchen mäanderförmigen Widerstandes kann das magneto-sensitive Element auch ein flächenförmig ausgedehntes Element sein.

Die Oberflächenwellenanordnung kann auch als zusätzlicher Oberflächenwellen-Chip dem impedanzgebenden Sensor hybrid hinzuintegriert sein. Es kann (auch) von Vorteil sein, als Substrat für die Oberflächenwellenanordnung eine piezoelektrische Schicht, z. B. aus Zinkoxid, vorzusehen, die auf dem Trägersubstrat des sensitiven Elements aufgebracht ist, wobei das Element z. B. ein Halbleiterelement auf bzw. in einem Siliziumsubstrat ist.

Eine solche hybride Anordnung kann insbesondere aus Montagegründen, jedoch auch aus Gründen geringerer Störempfindlichkeit vorgesehen sein.

Weitere Verbesserungen hinsichtlich der Signalauswertung lassen sich mit speziellen vorteilhaft ausgestalteten Oberflächenwellenanordnungen erzielen. Die Fig. 6 zeigt eine Oberflächenwellenanordnung mit wiederum einem Substratplättchen 22 und darauf vorhandenen Oberflächenwellenstrukturen. Mit 23 ist wiederum der Eingangs-/Ausgangswandler bezeichnet, an den die Dipolhälften der Antenne 24 zum Funkempfang und Funk-Rücksendung angeschlossen sind. Der mit dem magneto-sensitiven Element 12, verbundene, als Oberflächenwellenreflektor dienende Wandler 26 ist auf dem Plättchen 22 auf der einen Seite des Wandlers 23 angeordnet. Auf der dazu anderen Seite der Oberfläche des Plättchens 22 sind in Fig. 6 zwei Referenz-Reflektoren 226 und 326 vorgesehen, die dazu dienen, zusätzlich zur Strommessung auch die Distanz zwischen dem Sender/Empfänger und dem Sensorelement 12 des Stromwandlers und auch die Temperatur des Sensorelements zu bestimmen. Bei im Winde schwankenden Hochspannungsleitungen ändert sich bekanntermaßen ständig die Entfernung zwischen dem mit der Leitung verbundenen Teil des erfindungsgemäßen Stromwandlers und seinem als Bodenstation aufgebautem Anteil. Für die Distanzmessung und die Temperaturmessung ist dabei davon ausgegangen, daß sich das eigentliche Sensorelement 12 ebenfalls auf dem Plättchen befindet oder diesem gegenüber in definiertem geringem Abstand positioniert ist. Mit der Bestimmung der Distanz(-änderungen) und der Temperatur des Sensorelements können beispielsweise mögliche bekannte Querempfindlichkeiten des Sensorsignals in der Signalverarbeitung eliminiert werden.

Weitere zur Signalauswertung geeignete Oberflä-

chenwellenanordnungen zeigen die Fig. 7 und 8. Die Fig. 7 zeigt eine Anordnung mit moden-gekoppelten Wandlern. Die mit 71 und 71' bezeichneten Wandler auf dem Substratplättchen 22 sind Eingangs-/Ausgangswandler mit ihren Dipolhälften der Antenne 24. Der Wandler 72 ist ebenfalls eine Oberflächenwellenstruktur, die mit den Wandlern 71, 71' moden-gekoppelt ist. Dieser moden-gekoppelte Wandler 72 ist mit dem magneto-sensitiven Element 12 verbunden und die Änderung seiner Abschlußimpedanz, d. h. die Änderung des Elements 12 im Magnetfeld, ist die wie bei den vorangehend beschriebenen Beispielen auszuwertende Meßgröße.

Fig. 8 zeigt eine Oberflächenwellen-Resonatoranordnung. Diese umfaßt auf dem Substrat 22 die Eingangs-/Ausgangswandler 23, 23' und den Wandler 26, der mit dem magneto-sensitiven Element wie gehabt verbunden ist. Mit 123 und 123' sind Reflektorstrukturen bezeichnet, an denen die in der Substratoberfläche verlaufende akustische Welle in sich wieder zurückreflektiert wird, so daß diese Reflektoren wie Spiegel eines Resonators wirksam sind.

Eine Eichung/Kalibrierung eines erfindungsgemäßen Stromwandlers erfolgt in an sich bekannter Weise, wie sie vielfach zur Eichung von quantitativ messenden Sensoren/Meßeinrichtungen Anwendung findet.

Bei der Auswahl des magneto-sensitiven Materials/Elements ist es vorteilhaft, ein solches mit hoher Curie-Temperatur vorzusehen, die deutlich über der maximalen Betriebstemperatur des Sensorelementes liegt. Als magneto-sensitives Material/Element eignen sich eine Feldplatte, eine (Giant) magneto-resistive Schicht, eine (Giant) magneto-striktive Schicht und dergleichen.

Als magneto-striktives Beschichtungsmaterial für den Substratkörper der Oberflächenwellenanordnung eignen sich insbesondere auch amorphe Gläser, wie z. B.  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{18}$ , das hervorragende weichmagnetische Eigenschaften bei gleichzeitig sehr guten mechanischen Eigenschaften hat sowie Terfenol.

Die Fig. 9 zeigt eine Oberflächenwellenanordnung mit wie schon oben erwähnter magneto-striktiver Beschichtung. Der wiederum mit 22 bezeichnete Substratkörper der Oberflächenwellenanordnung ist mit der Schicht 43 aus z. B. dem oben angegebenen Eisen-Nickel-Molybdän-Bor-Glas beschichtet. Im magnetischen Feld im Spalt 5 des weichmagnetischen Eisenringes 3 erfährt die Schicht 43 der dort positionierten Oberflächenwellenanordnung magneto-striktive Beeinflussung, die zu Laufzeitänderungen im Bereich dieser Schicht 43 für die Oberflächenwelle der Oberflächenwellenanordnung führt. Diese Laufzeitänderung ist die Meßgröße, die über die momentane Größe des Magnetfeldes die momentane Stromstärke zu ermitteln gestattet. Im übrigen arbeitet ein erfindungsgemäßer Stromwandler so, wie dies für die voranstehend beschriebenen Oberflächenwellenanordnungen und deren Signalauswertung bereits erläutert ist.

Die Fig. 10 zeigt eine wiederum magneto-striktiven Effekt ausnutzende Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Stromwandlers. Hier befindet sich das relativ dünne Substratplättchen 22 der Oberflächenwellenanordnung auf einer vergleichsweise gleich dicken oder dickeren magneto-striktiven Trägerplatte 122. Befindet sich entsprechend erfindungsgemäßer Anwendung des Stromwandlers diese magneto-striktive Trägerplatte 122 im Wirkungsbereich des Magnetfeldes 5 der Fig. 1/2, so erfährt das Material dieser Trägerplatte 122 eine Änderung der geometrischen Abmessungen, insbe-

sondere magnetfeldabhängige Verkürzung/Verlängerung. Eine solche Längenänderung bewirkt, daß die Substratplatte 22 mechanischer Spannungsbelastung ausgesetzt ist, die wiederum zu Laufzeitänderungen der Oberflächenwelle zwischen dem Eingangs-/Ausgangswandler 23 und einer Reflektorstruktur 1026 der eigentlichen Oberflächenwellenanordnung führt. Auch diese Laufzeitänderung kann als Meßgröße für die zu messende elektrische Stromstärke in der Hochspannungsleitung benutzt werden.

Die Abfrage- und Auswerteeinheit eines erfindungsgemäßen Stromwandlers umfaßt einen lokalen Sendeoszillator, dessen Sendesignale schaltergesteuert über eine Endstufe und Sende-/Empfangsweiche der Antenne der Bodenstation zugeführt wird. Von dieser Antenne wird das Signal der schon häufig erwähnten Antenne 24, 34 auf dem Funkweg zugesandt. Diese bodenständige Antenne empfängt auch das Antwortsignal der Antenne der Oberflächenwellen-Anordnung. Dieses Empfangssignal läuft über einen Verstärker und einen Mischer, der vom Sendeoszillator gesteuert wird. Das in den Zwischenfrequenzbereich umgesetzte Antwortsignal wird mit einem Bandpaß gefiltert und verstärkt. Um das Signal digital auswerten zu können, wird es in einem Analog-/Digitalwandler digitalisiert und kann in einem  $\mu$ -Computer verarbeitet werden.

Das vom Magnetfeld des in der Hochspannungsleitung augenblicklich fließenden, hinsichtlich Stromstärke und Phase zu messenden Stromes beeinflusste Antwortsignal der Oberflächenwellenanordnung, das vom Empfänger der Auswerteeinheit zu empfangen ist, ist im Falle einer Resonatoranordnung eine reflektierte exponentiell abklingende Eigenschwingung. Frequenz, Phase und Abklingzeitkonstante dieser exponentiell abklingenden Eigenschwingung enthält die Information über das in dem magneto-sensitiven Element des Sensorteils der erfindungsgemäßen Einrichtung einwirkenden Magnetfeldes. Ist die Oberflächenwellenanordnung eine Verzögerungsleitung, so z. B. eine reflektive Verzögerungsleitung, so enthält das Antwortsignal der Oberflächenwellenanordnung charakteristische Echos des Abfragesignals. Die jeweilige Frequenzlage, relative Höhe, unterschiedliche Laufzeiten und/oder Phasenlagen dieses Echos enthalten die Information. Umfaßt die Oberflächenwellenanordnung eine oder mehrere dispersive (gechirpte) Strukturen, so erfährt das Abfragesignal eine oder mehrere Frequenzmodulationen bevor es von dem eigentlichen Stromwandler zurückgesendet wird. Die genaue Art dieser Modulation enthält die Information.

#### Patentansprüche

1. Stromwandler, geeignet zur Stromstärkemessung an/in auf Hochspannung liegenden elektrischen Einrichtungen, mit einem magneto-sensitiven Element (12), mit einem Hochfrequenz-Sender und -Empfänger mit Funkantenne und elektronischer Auswerteeinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß eine Oberflächenwellenanordnung (21) mit Oberflächenwellenstrukturen (23, 26) und eine Antenne (24) angeordnet ist, daß das magneto-sensitive Element (12) mit wenigstens einer der Oberflächenwellenstrukturen (26) gekoppelt ist, und daß der Sender zur Funkaussendung eines Abfra-

geimpulses (300) und der Empfänger mit seiner Auswerteeinrichtung zum Funkempfang und zur Auswertung einer vom augenblicklichen Magnetfeld (B) der Hochspannungseinrichtung (1) beeinflussten Änderung der Impulsantwort (310) der Oberflächenwellenanordnung ausgebildet sind.

2. Stromwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-sensitive Element ein magneto-resistives Element (12) ist, das elektrisch mit einer der Oberflächenwellenstrukturen (26) verbunden ist.

3. Stromwandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-resistive Element (12) eine Feldplatte ist.

4. Stromwandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-resistive Element (12) eine Wismutspirale ist.

5. Stromwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-sensitive Element eine spannungsabhängige Impedanz (VDX) und eine Schaltereinrichtung (1126) ist, die elektrisch mit einer transformatorischen Ringkernwicklung (104) verbunden sind, wobei die spannungsabhängige Impedanz mit einer ersten Oberflächenwellenstruktur (26) und die Schaltereinrichtung mit einer zweiten Oberflächenwellenstruktur (126) der Oberflächenwellenanordnung (21) als jeweilige elektrische Abschlüsse der Oberflächenwellenstrukturen (26, 126) elektrisch verbunden sind.

6. Stromwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-sensitive Element eine Gleichrichter-Brückenschaltung (105) und eine Schaltereinrichtung, die mit einer transformatorischen Ringkernwicklung (104) elektrisch verbunden sind, ist, wobei die Gleichrichterschaltung mit einer ersten Oberflächenwellenanordnung (26) und die Schaltereinrichtung mit einer zweiten Oberflächenwellenstruktur (126) der Oberflächenwellenanordnung als jeweilige elektrische Abschlüsse dieser Oberflächenwellenstrukturen elektrisch verbunden sind.

7. Stromwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-sensitive Element eine magneto-striktive Element ist, das auf/an einem Substrat (22) der Oberflächenwellenanordnung (21) vorgesehen ist.

8. Stromwandler nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-striktive Element eine auf dem Substrat (22) vorgesehene Schicht (43) ist.

9. Stromwandler nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das magneto-striktive Element eine Trägerplatte (122) ist, die mit dem Substrat (22) fest verbunden ein magneto-sensitives Striktions-Biegeelement bildet.

10. Stromwandler nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem magneto-striktiven Substratmaterial (22) eine piezoelektrische Schicht für die Oberflächenwellenanordnung vorgesehen ist.

11. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenwellenanordnung (21) ein Oberflächenwellen-Resonatorfilter ist.

12. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenwellenanordnung (21) eine modengekoppelte Anordnung ist.

13. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenwellenanordnung (21) eine Laufzeitleitung ist.

14. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung, die ein dem Magnetfeld des zu messenden Stromes überlagertes Gleich-Magnetfeld (N/S) zur Arbeitspunktverschiebung umfaßt, vorgesehen ist.

15. Stromwandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Anordnungen mit jeweils einer solchen Einrichtung mit dem Magnetfeld des zu messenden Stromes überlagertem Gleich-Magnetfeld (N/S) vorgesehen sind, wobei das Gleich-Magnetfeld der einen Anordnung, bezogen auf das zu messende Magnetfeld, dem Gleich-Magnetfeld der anderen Anordnung entgegengesetzt polarisiert ist, zwecks Arbeitspunktverschiebung in jeweils zueinander entgegengesetzter Richtung.

16. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß er zum Einbau in ein Hochspannungs-/Mittelspannungskabel ausgebildet ist.

17. Stromwandler nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß er zum Einbau in ein koaxiales Kabel (30) ausgebildet ist, wobei für die Ein-/Auskopplung des Funksignals ein (jeweiliger) Schlitz (35, 35') im koaxialen Leiter des Kabels vorgesehen ist.

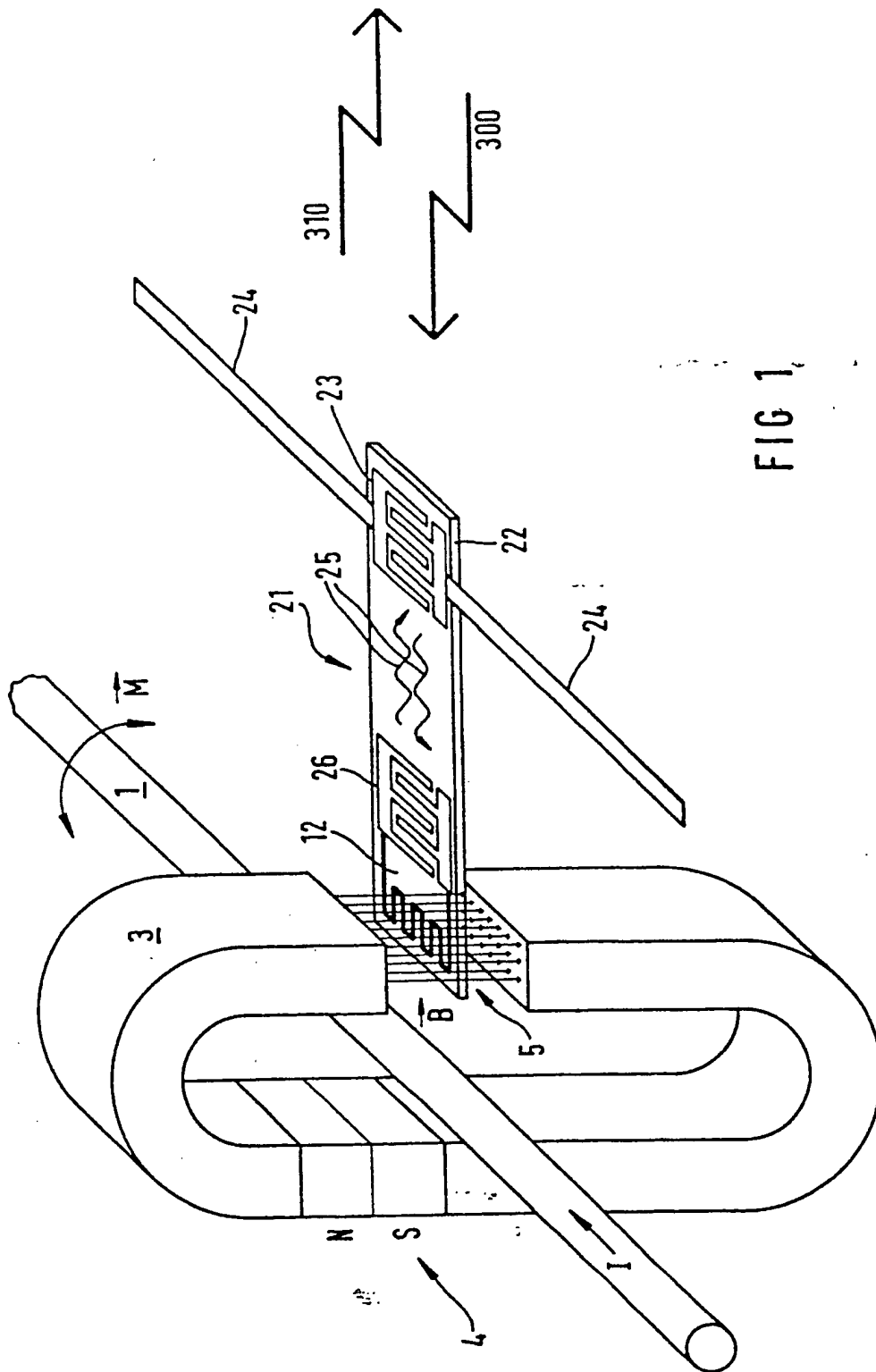
18. Stromwandler nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Funksignal über eine im Rohrleiter des Kabels sich ausbreitende Hohlleiterwelle zu-/abgeführt ist.

---

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

---





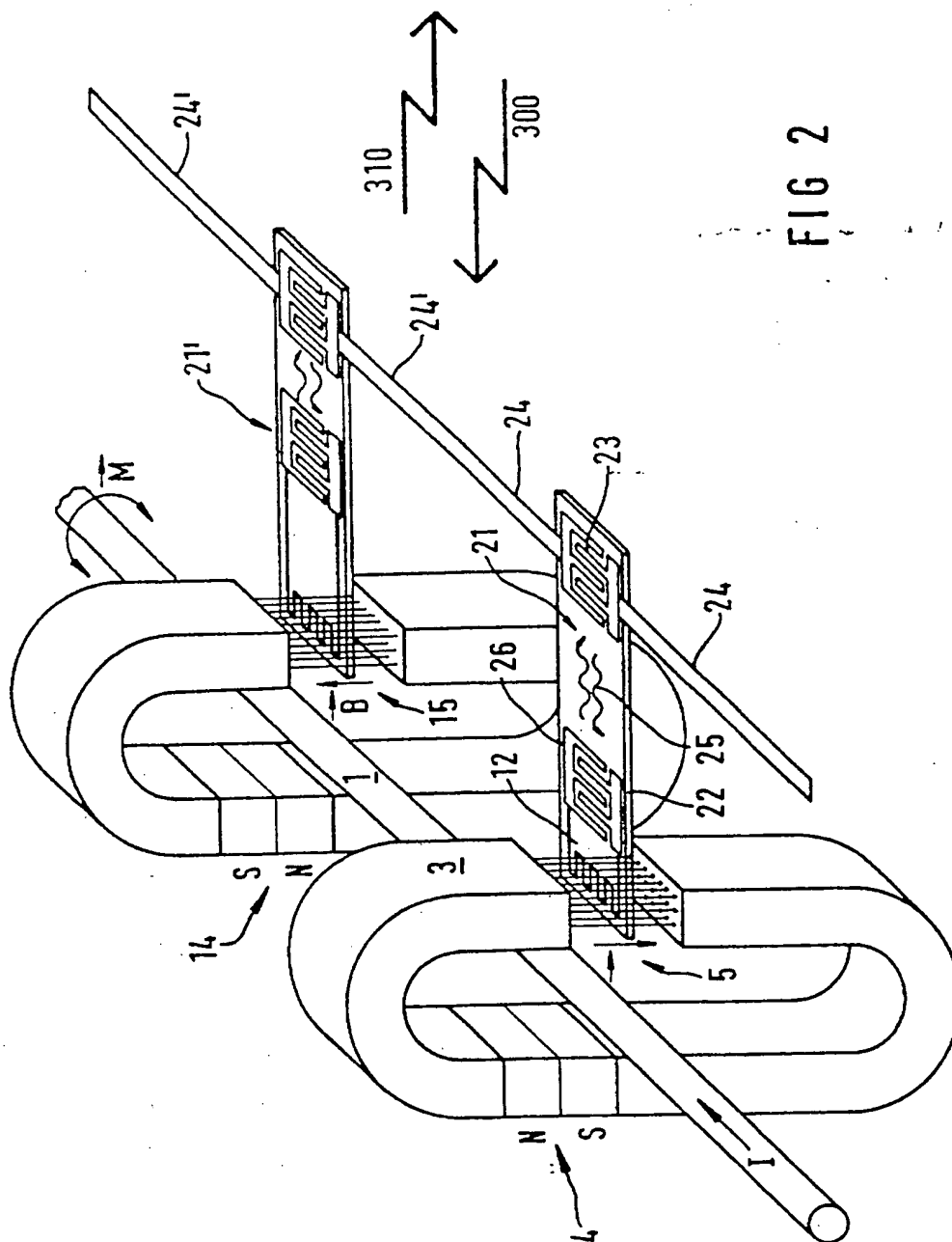


FIG 2

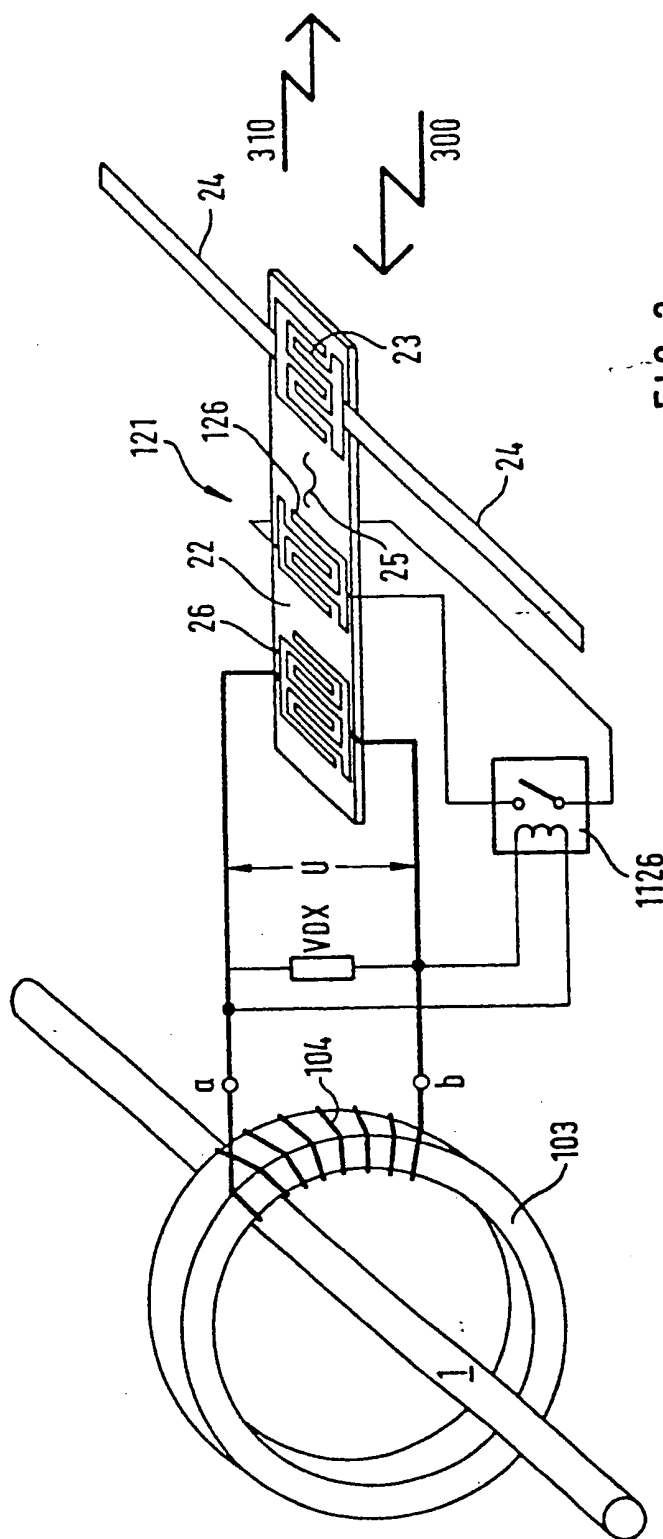


FIG 3

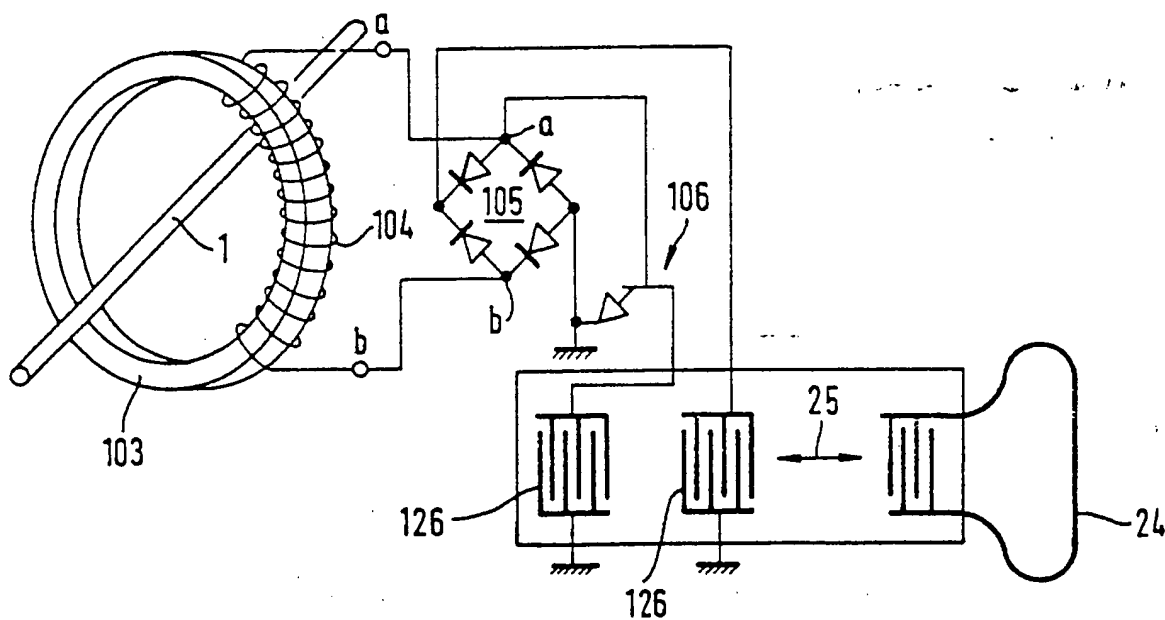


FIG 3a

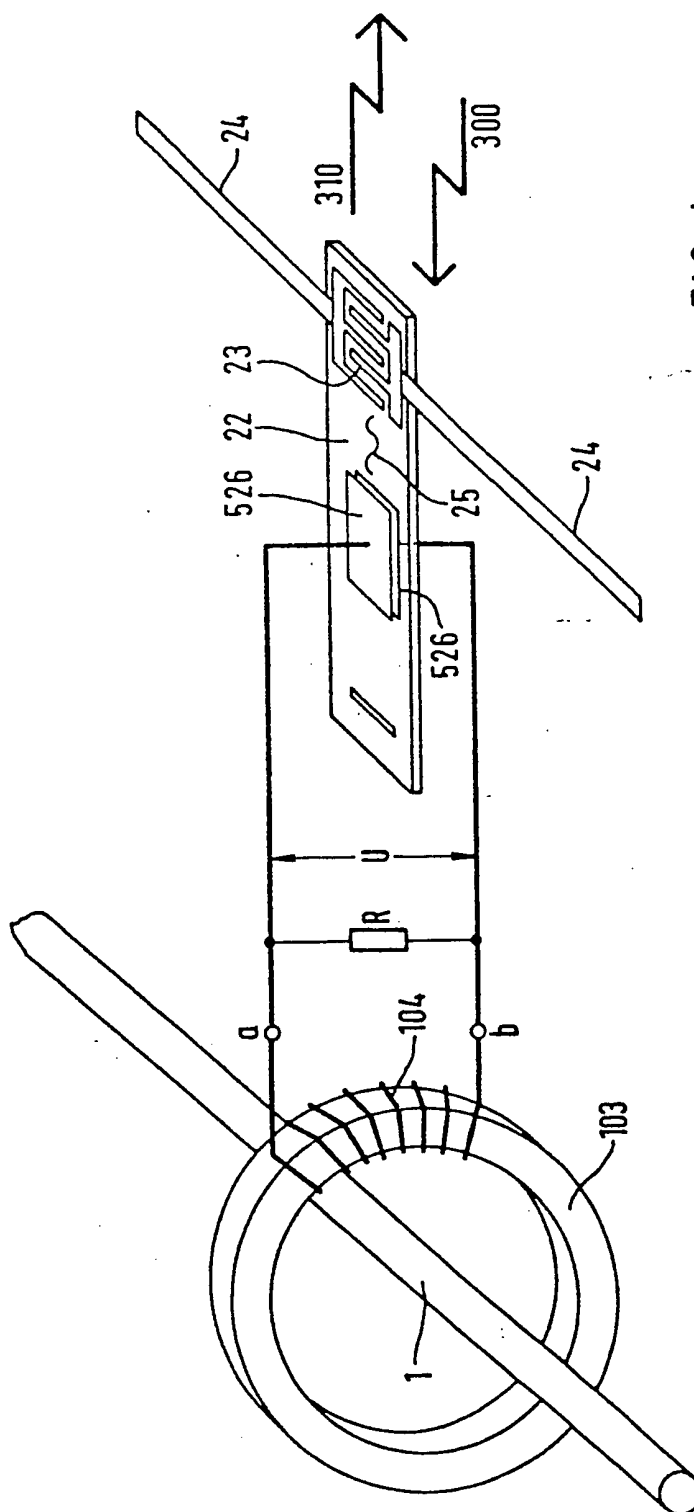


FIG 4

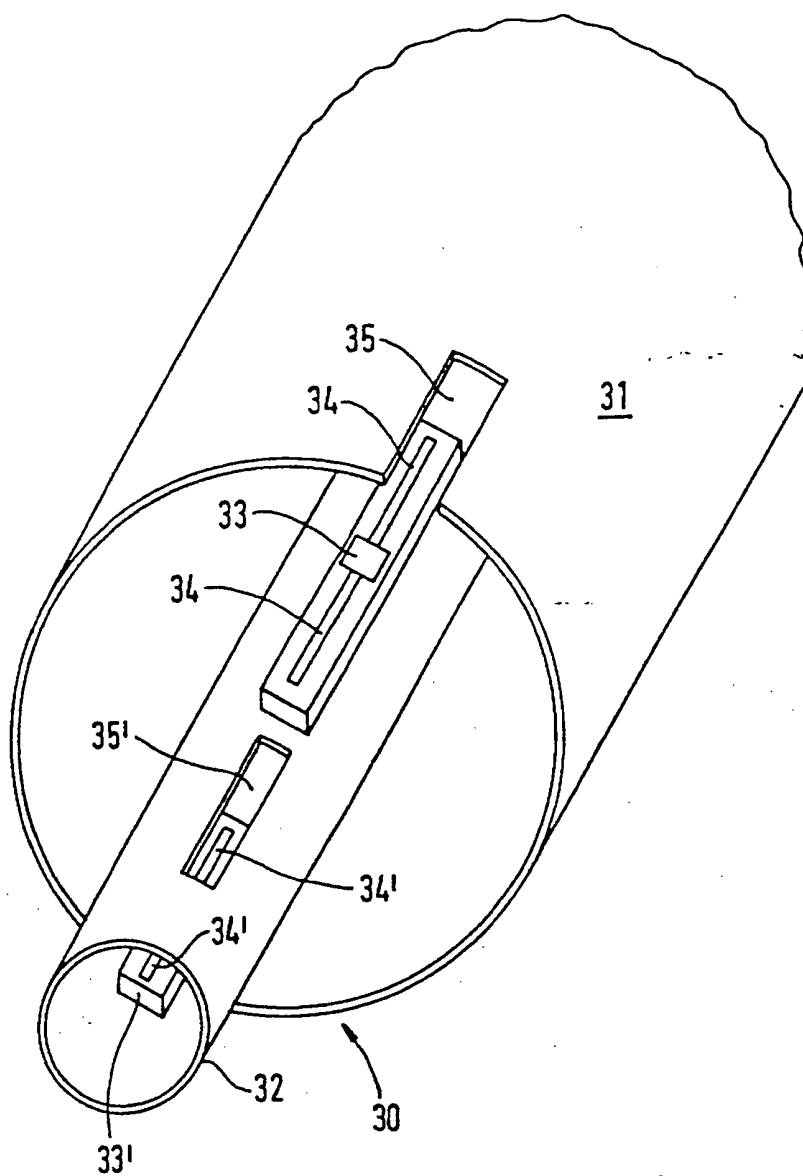
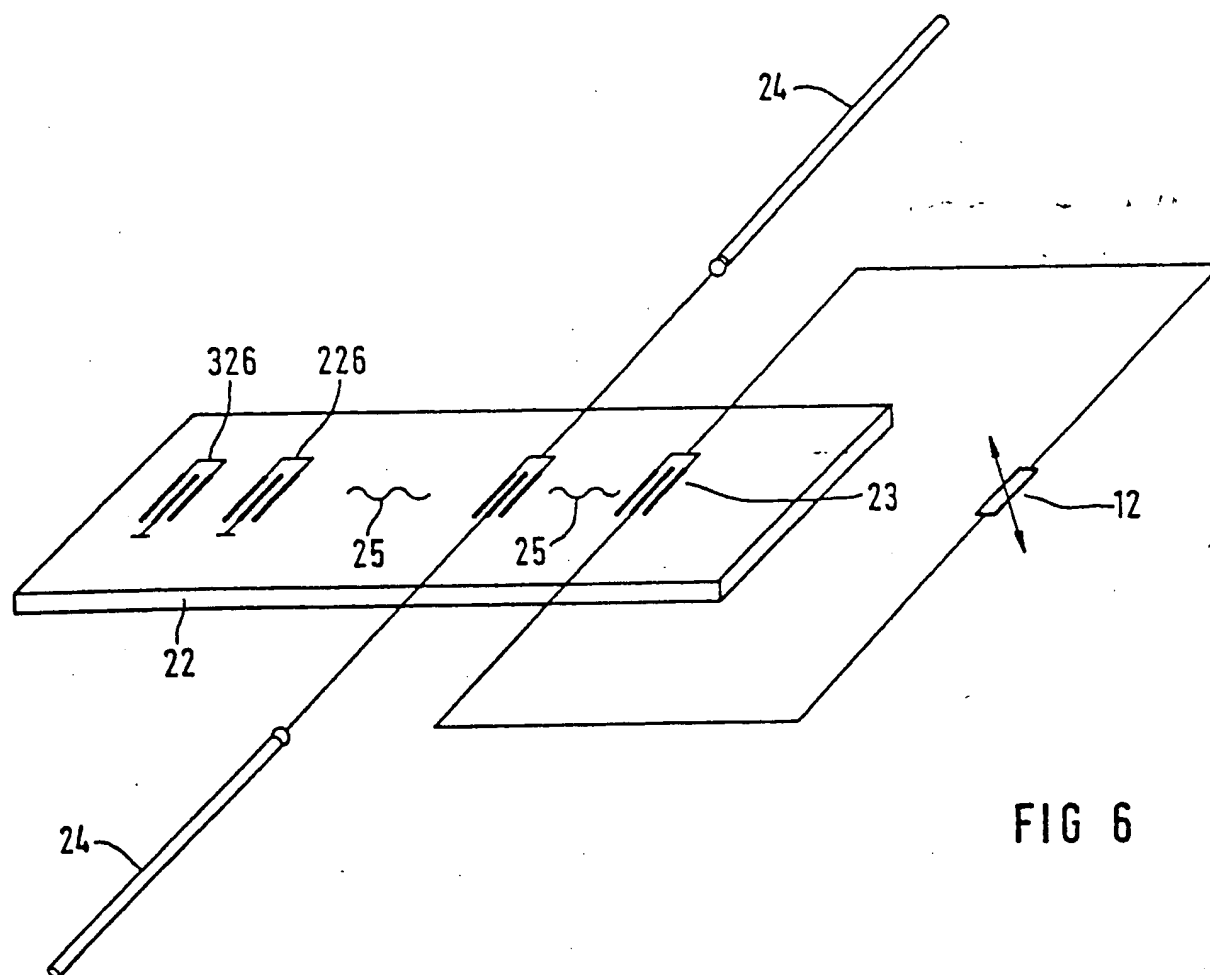


FIG 5



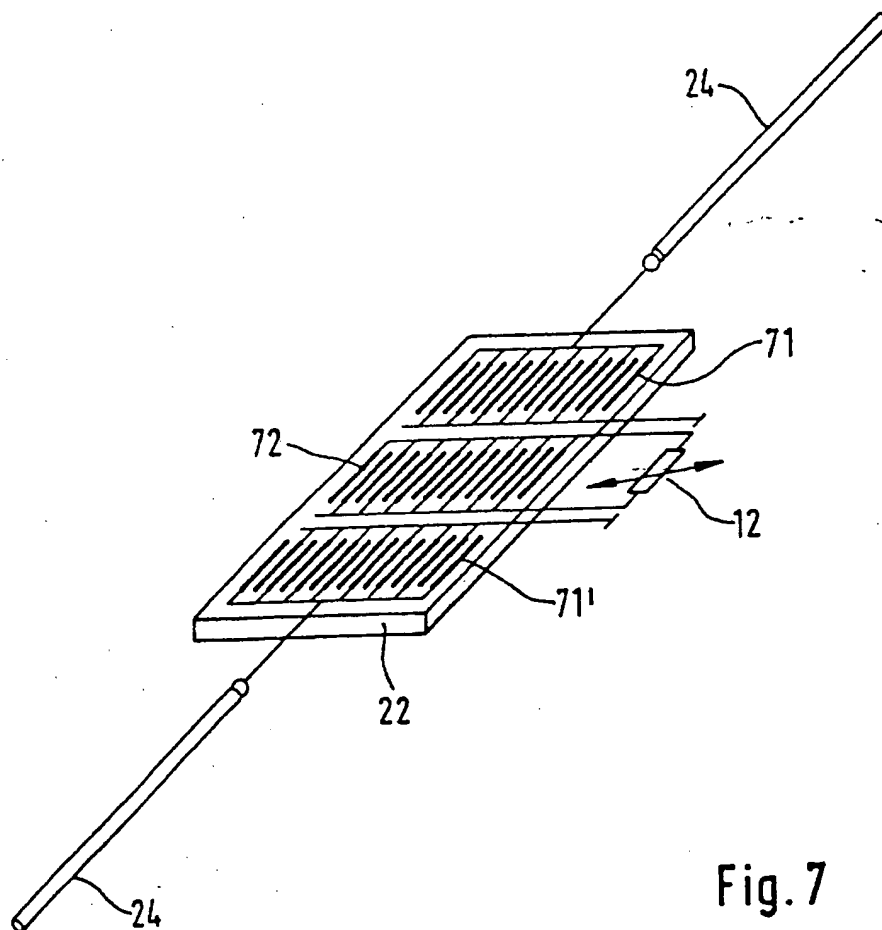


Fig. 7



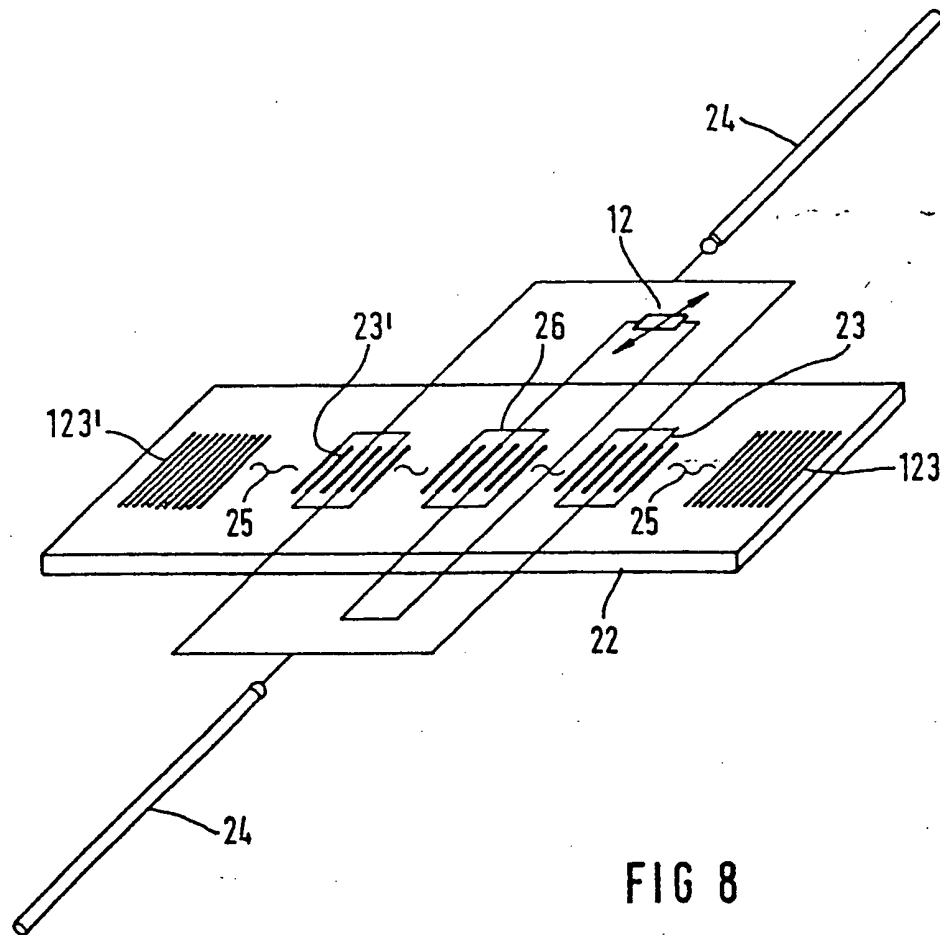


FIG 8

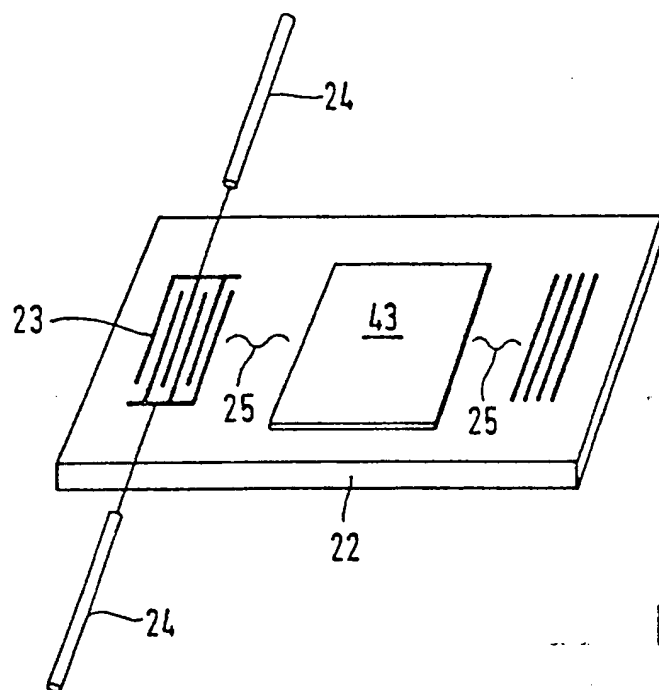


FIG 9

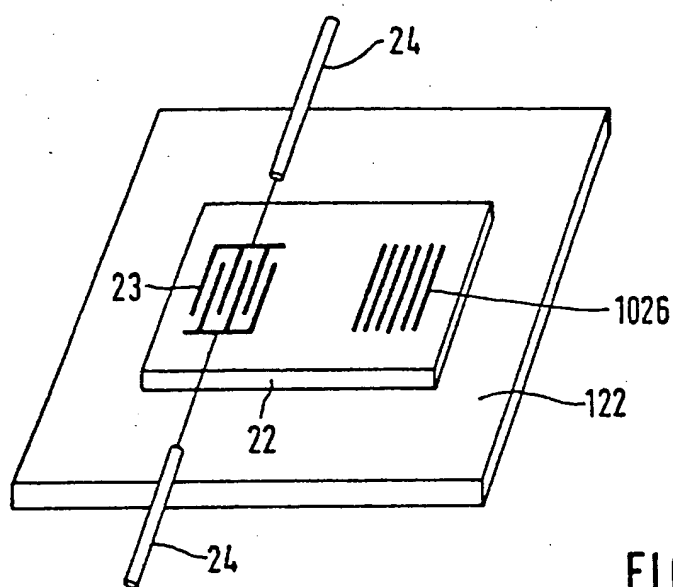


FIG 10